Journal of Horticultural Science
https:// jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 36, No. 3, Fall 2022, p. 643-655

Effect of Salicylic acid Application on Morphophysiological Traits of *Physalis peruviana* L. under Deficit Water Stress

S. Siahmansour[1], A. Ehtesham Nia[2*], A. Rezaei Nejad[3]

Received: 17-10-2021 Revised: 28-10-2021 Accepted: 19-01-2022 Available Online: 25-11-2022	**How to cite this article:** Siahmansour S., Ehtesham Nia A., Rezaei Nejad A. (2022). Effect of Salicylic acid Application on Morphophysiological Traits of *Physalis peruviana* L. under Deficit Water Stress. *Journal of Horticultural Science 36*(3): 643-655. (In Persian with English abstract) **DOI**: 10.22067/JHS.2022.72985.1096

Introduction

Reduction of water available to the plant leads to many morphological, physiological and biochemical changes in plant cell and plant organs activity will be directly disrupted. In addition to the defense systems in the plant itself, there are other ways to increase plant resistance, including the use of plant growth regulators. Salicylic acid is known as one of the common compounds used for environmental stresses and an essential molecular signal in plant fluctuations in response to environmental stresses. This substance has a protective effect and improves the growth process of the plant. This combination stimulates the plant immune system by inducing transcription of a specific group of genes involved in the defense and development of systemic resistance. Physalis is a small fruit of the Solanaceae family that originates in tropical and subtropical regions of South America. This genus has 80 species in the world, of which the famous species *Ph. minima* L., *Ph. angulate* L., *Ph. philadelphia* L., *Ph. alkekengi* L., *Ph. peruviana* L., *Ph. pubscens* L., *Ph. ixocarpa* L., among these species, *Peruviana* species is considered due to its unique taste and high yield.

Material and Methods

An experiment was conducted at the Faculty of Agriculture research greenhouse of Lorestan University Khorramabad, Iran. (latitude 33◦ 29` N, longitude 48◦ 22` E, altitude 1125 m) in May 2018. The experimental design was factorial based on completely randomized design with three replications. The treatments consisted of 3 levels of deficit water stress (95, 85, and 75% field capacity) and four salicylic acid concentrations (0, 0.5, 1, and 2 mM). Physalis seedlings were grown into pots containing soil, sand, and manure. In this research, chlorophyll (Chl a, Chl b, total Chl) and carotenoid content, chlorophyll fluorescent parameters (F0, Fm, Fv, and Fv/Fm), fresh and dry weight of fruit, fruit diameter, fruit number, TSS and vitamin C, proline, leaf anthocyanin and shoot soluble sugar, fresh and dry weight of leaf, leaf area, root volume and plant height, were measured.

Results and Discussion

The results showed that the effect of deficit water stress and salicylic acid treatment on the measured traits including photosynthetic pigments, chlorophyll fluorescence, fresh, and dry weight of fruit, number of fruits, amount of vitamin C, proline, soluble sugar, fresh and dry weight of leaves, leaf area, plant height and root volume were significant. Foliar application of salicylic acid at a concentration of 2 mM under water stress under 75% of field capacity increases the concentration of photosynthetic pigments including chlorophyll a (25.69%), chlorophyll b (14.08%), total chlorophyll (6.70%), and carotenoid (7.26%) and increased chlorophyll fluorescence parameters including Fm (5.2%) and Fv (1.92%). Salicylic acid at a concentration of 1 mM had

1- Gratuated M.Sc. Students, Engineering of Greenhouse Products, Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran
2- Associate Professor, Physiology and Breeding of Fruit, Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran
(*- Corresponding Author Email: Ehteshamnia.ab@lu.ac.ir)
3- Professor, Ornamental Plants Physiology, Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran

better results on quantitative and qualitative traits of fruit including a number of fruits (2.67%), fresh weight of fruit (10.61%), and dry weight of fruit (0.6%). Under stress conditions of 75% of field capacity, application of 2 mM salicylic acid reduced the concentration of proline (31.2%), soluble sugar (11.69%) and leaf anthocyanin (4.93%). Therefore, according to the results, the best levels of irrigation for breeding Physalis (*Physalis pruviana* L.) are 85 and 95% of field capacity, and the concentration of 2 mM salicylic acid as a natural modulator has an effective role in reducing the effects of dehydration stress. Stress significantly reduces the maximum efficiency of photosystem II (Fv/Fm). This adverse effect on Fv/Fm may be due to its role in inhibiting electron transfer, as well as destroying the reaction centers in PSII. Accumulation of proline under stress is because proline, as a compatible osmolyte, removes all types of active oxygen and protects the cell, and provides the necessary conditions for the plant to absorb water. Salicylic acid increases the chlorophyll synthesis and protects the chloroplast membrane from stress by removing destructive free radicals by stimulating the biosynthetic of the photosynthetic pigment pathway and reducing the chlorophyllas enzyme. It also prevents the ethylene formation by inhibiting of ACC- synthetase enzyme, which in turn prevents the degradation of chlorophyll. Salicylic acid regulates the various physiological processes such as plant growth and development.

Conclusion

According to the results, the application of salicylic acid under low irrigation stress, as a growth enhancer and stress modulator, showed good results and improved physiological traits such as increasing photosynthetic pigments (chlorophyll and carotenoids), Fm, Fv and maximum efficiency of photosystem II and improvement of biochemical traits (proline, soluble sugar and leaf anthocyanin) at a concentration of 2 mM and increase in fruit traits (fresh and dry weight, number of fruits, vitamin C and fruit diameter) at a concentration of 1 mM. Growth and morphological traits also showed an increase in fresh and dry leaf weight, leaf area, plant height at a concentration of 2 mM salicylic acid at low irrigation stress levels. Therefore, salicylic acid can be used to reduce the destructive effects of deficit water stress and increase the quantity and quality of fruit if the Physalis plant is grown in arid and semi-arid regions.

Keywords: Fv/Fm, Leaf anthocyanin, Plant growth regulator, Vitamin C

نشریه علوم باغبانی
https:// jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۱، ص. ۶۵۵-۶۴۳

اثر کاربرد سالیسیلیک اسید بر صفات مورفوفیزیولوژیکی عروسک پشت پرده (*Physalis peruviana* L.) تحت تنش کم آبی

سارا سیاه منصور[1]- عبداله احتشام نیا[2*]- عبدالحسین رضایی نژاد[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۹

چکیده

امروزه به دلیل تغییرات آب و هوا و کاهش بارندگی، تولید محصولات کشاورزی در بسیاری از مناطق، بخصوص مناطق خشک و نیمه خشک با مشکل مواجه شده است. از طرفی، استفاده از مواد تعدیل کننده تنش، یک راهکار بهینه و کم هزینه بوده و شناخت ویژگی‌های گیاه در این شرایط، منجر به اتخاذ شیوه‌های مدیریت تولید مناسب خواهد شد. به همین منظور، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور تنش کم آبی (سه سطح ۹۵، ۸۵ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی) و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید (چهار سطح صفر، ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌مولار) در سال ۱۳۹۷ درگلخانه تحقیقاتی دانشگاه لرستان انجام شد. نتایج نشان داد که اثر تنش کم آبی و تیمار سالیسیلیک اسید بر صفات اندازه‌گیری شده شامل رنگیزه‌های فتوسنتزی، کلروفیل فلورسانس، وزن تر و خشک میوه، تعداد میوه، میزان ویتامین ث، پرولین، قند محلول، وزن تر و خشک برگ، سطح برگ، ارتفاع بوته و حجم ریشه معنی‌دار شد. محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید با غلظت ۲ میلی‌مولار در تنش کم آبی ۷۵ درصد ظرفیت زراعی، موجب افزایش غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a (۲۵/۶۹ درصد)، کلروفیل b (۱۴/۰۸ درصد)، کلروفیل کل (۶/۷۰ درصد) و کارتنوئید (۷/۲۶ درصد) و افزایش میزان پارامترهای کلروفیل فلورسانس از جمله Fm (۵/۲ درصد) و Fv (۱/۹۲ درصد) نسبت به شاهد شد و در غلظت ۱ میلی‌مولار بر صفات کمی و کیفی میوه از جمله تعداد میوه (۲/۶۷ درصد)، وزن تر میوه (۱۰/۶۱ درصد) و وزن خشک میوه (۰/۶ درصد)، نتایج مطلوب‌تری را نسبت به شاهد داشت. همچنین، در شرایط تنش ۷۵ درصد ظرفیت زراعی، کاربرد سالیسیلیک اسید ۲ میلی‌مولار موجب کاهش غلظت پرولین (۳۱/۲ درصد)، قند محلول (۱۱/۶۹درصد) و آنتوسیانین برگ (۴/۹۳ درصد) نسبت به شاهد شد. بنابراین طبق نتایج به دست آمده، می‌توان از سطوح آبیاری ۸۵ و ۹۵ درصد ظرفیت زراعی، جهت پرورش گیاه عروسک پشت پرده و غلظت ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید به عنوان یک تعدیل کننده طبیعی برای کاهش اثرات تنش کم آبی استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین برگ، حداکثر کارائی کوانتومی فتوسیستم II، مواد تنظیم کننده رشد، ویتامین ث

مقدمه

در سال‌های اخیر، افزایش رشد جمعیت، بهره‌برداری از منابع آب در جهان را تحت تأثیر قرار داده، که این اثر به صورت افزایش میزان تقاضا از منابع آبی و در نتیجه کمبود منابع آب خواهد شد (Padilla-Rivera *et al.*, 2016). بخش کشاورزی، از عمده‌ترین مصرف کننده‌های آب می‌باشد در نتیجه اولین پیامد کمبود آب، تأثیر بر محصولات کشاورزی است (Garcia-Hernandez *et al.*, 2010 ; Garizabal *et al.*, 2011). کاهش آب در دسترس برای گیاه منجر به ایجاد تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی فراوانی در سلول‌های گیاهی می‌شود و فعالیت اندام‌های گیاهی به صورت مستقیم و غیر مستقیم مختل خواهد شد (Raeini-Sarjaz *et al.*, 2011). میزان کلروفیل فلورسانس توانایی گیاه نسبت به تنش، آسیب

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سابق، مهندسی تولیدات گلخانه، علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان
۲- دانشیار، فیزیولوژی و اصلاح میوه، علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان
(*- نویسنده مسئول: Email: Ehteshamnia.ab@lu.ac.ir)
۳- استاد، فیزیولوژی گیاهان زینتی، علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان

DOI: 10.22067/JHS.2022.72985.1096

دیدن و یا سالم بودن غشاء تیلاکوئید، کارایی زنجیره انتقال الکترون بین دو فتوسیستم و در واقع میزان خسارت به گیاه را نشان می‌دهد (Afsharmohamadian *et al.*, 2018). تنش کم آبی، موجب افزایش غلظت ترکیباتی مانند آنتوسیانین و آنتی‌اکسیدان‌ها شده و به دنبال آن افزایش تجزیه نشاسته، قندهای محلول نیز افزایش می‌یابد (; Gine-Bordonaba *et al.*, 2016; Nooraee *et al.*, 2013). علاوه بر سیستم‌های دفاعی که در خود گیاه وجود دارد، روش‌های دیگری برای افزایش مقاومت گیاهان وجود دارد که شامل استفاده از مواد تنظیم کننده رشد گیاهی می‌باشد. سالیسیلیک اسید به عنوان یکی از ترکیبات متداول مورد استفاده برای تنش‌های محیطی و نیز به عنوان یک سیگنال مولکولی مهم در نوسانات گیاهی در پاسخ به تنش‌های محیطی شناخته شده است (Keshavarsnia *et al.*, 2016). این ماده اثر محافظتی داشته و موجب بهبود روند رشد گیاه می‌شود. این ترکیب سیستم دفاعی گیاه را از طریق القای رونویسی گروه مشخصی از ژن‌های مرتبط با دفاع و توسعه مقاومت سیستمیک تحریک می‌کند. گیاه عروسک پشت پرده (*Ph. peruviana* L.) یک ریز میوه از خانواده سولاناسه (Solanaceae) که منشاء آن مناطق گرمسیر و نیمه گرمسیر آمریکای جنوبی می‌باشد. این جنس ۸۰ گونه در جهان دارد که گونه‌های معروف آن *Ph. minima* L., *Ph. angulate* L., *Ph. philadelphia* L., *Ph. alkekengi* L., *Ph. peruviana* L., *Ph. pubscens* L., *Ph. ixocarpa* L., بوده که از بین این گونه‌ها، گونه پروویانا به علت طعم منحصر به فرد و عملکرد بالا مورد توجه است. گیاهی چند ساله و علفی که قسمت خوراکی آن میوه‌ای به رنگ نارنجی که سرشار از مواد مغذی، ویتامین و مواد معدنی می‌باشد. نتایج پژوهش سگورا-مونروی و همکاران (Segura-Monroy *et al.*, 2011)، مشخص کرد که تنش کم آبی موجب کاهش محتوای نسبی آب، ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک گیاه عروسک پشت پرده شد اما ضخامت برگ و تعداد کرک‌ها افزایش یافت. در یک بررسی که چهار سطح آبیاری (شاهد، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی) بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی عروسک پشت پرده مورد آزمایش قرار گرفت، نشان داده شد که با افزایش شدت تنش کم آبی، میزان خسارت به دیواره سلولی افزایش و محتوای نسبی و شاخص کلروفیل کاهش نشان داد (Deveci and Celik, 2016). تنش کم آبی موجب کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر میوه، ویتامین ث و مواد جامد محلول میوه، قطر میوه و غلظت کلروفیل در فلفل دلمه‌ای شد (Daneshpajouh *et al.*, 2018). کاربرد سالیسیلیک اسید در شرایط تنش کم آبی میزان پرولین و قندهای محلول را در گیاه شنبلیه افزایش داد و موجب بهبود عملکرد گیاه و کاهش اثرات تنش شد (Abdi, 2020). استفاده از سالیسیلیک اسید در غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار موجب افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی، عملکرد و افزایش تحمل انجیر نسبت به تنش خشکی شد (Samani *et al.*, 2020). هدف از انجام این پژوهش، بررسی نقش سالیسیلیک اسید در بهبود اثرات منفی کم آبی در گیاه عروسک پشت پرده بود.

مواد و روش‌ها

پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سال ۱۳۹۷ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی (واقع در طول ۴۸ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی و عرض ۳۳ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۱۲۵متر از سطح دریا، رطوبت نسبی گلخانه ۹۰-۶۰ درصد، شدت نور ۶۰۰ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه) دانشگاه لرستان واقع در شهرستان خرم آباد انجام شد. دانهال‌های عروسک پشت پرده از شرکت ایران به لیمو تهیه و پس از آن به گلدان‌های پلاستیکی (۱۰ لیتری) حاوی خاک، ماسه و کود حیوانی به نسبت ۲:۱:۱ منتقل شدند. آبیاری گیاهان در سه سطح کنترل (۹۵ درصد ظرفیت زراعی)، تنش کم آبی متوسط (۸۵ درصد ظرفیت زراعی) و شدید (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) پس از انتقال نشاء و در مرحله ۴ برگی انجام شد. سالیسیلیک اسید در چهار سطح (صفر، ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌مولار) و در مرحله ۳-۲ برگی (قبل از اعمال تنش کم آبی) به کاربرده شد و به فاصله ۱۰ روز یکبار محلول‌پاشی (در مجموع هفت مرتبه محلول‌پاشی) انجام شد. جهت اعمال تنش کم آبی، ابتدا ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم با استفاده از دستگاه صفحات فشاری تعیین شد سپس تیمارهای ۹۵، ۸۵ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی اعمال شد. برای اندازه‌گیری رطوبت خاک و نیز محاسبه تغییرات آن در فاصله بین دو آبیاری از دستگاه تی دی آر (TDR 100, American Spectrum) استفاده شد.

رنگدانه‌های فتوسنتزی

۰/۱ گرم برگ تازه با ازت مایع خرد و با ۱۰ میلی‌لیتر استون خالص، مخلوط گردید و پس از سانتریفیوژ، جذب محلول در طول موج‌های ۶۴۵، ۶۶۲ و ۴۷۰ اندازه‌گیری شد و میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید برحسب میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ، به دست آمد (Lichtenthaler, 1987).

کلروفیل فلورسانس

پارامترهای کلروفیل فلورسانس با استفاده از دستگاه فلوریمتر (مدل PAM 2500-Walz, Germany) تعیین شد. شاخص‌های اندازه‌گیری شده شامل فلورسانس پایه (F0)، فلورسانس بیشینه (Fm)، فلورسانس متغیر (Fv)، حداکثر کارائی کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) بود (Krall and Edwards, 1992).

اندازه‌گیری صفات میوه

صفات اندازه‌گیری شده شامل: وزن تر و خشک میوه، تعداد میوه، قطر میوه، مواد جامد محلول و ویتامین ث بود. وزن تر و خشک میوه با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱، قطر میوه با استفاده از کولیس (برحسب میلی‌متر) و مواد جامد محلول با استفاده از دستگاه رفراکتومتر دستی آتاگو (مدل ان یک، ژاپن) بر حسب درجه بریکس اندازه‌گیری شد. میزان ویتامین ث میوه بر اساس روش تیتراسیون ۲و۶ دی کلروفنل اندوفنل به دست آمد، به این ترتیب که ۵ میلی‌لیتر از آب میوه با ۵ میلی‌لیتر متافسفریک ترکیب و با محلول دی کلروفنول (با استفاده از بورت) رقیق شد و درنهایت میزان ویتامین ث، بر اساس میزان دی کلروفنول مصرف شده به دست آمد و بر حسب میلی‌گرم بر گرم بافت تازه میوه گزارش شد (Ting and Russeff, 1981).

پرولین

نمونه‌های برگی (۰/۱ گرم) توسط ازت مایع خرد شد. سپس روی هر نمونه ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک ۳ درصد ریخته شد. عصاره حاصل درون سانتریفیوژ (۴ درجه سانتی‌گراد) به مدت ۱۵ دقیقه قرار داده شد. سپس دو میلی‌لیتر از عصاره صاف شده رویی با دو میلی‌لیتر شناساگر ناین هیدرین و استیک اسید خالص ترکیب و به مدت یک ساعت در حمام آب گرم با دمای ۹۰ درجه قرار داده شد. بعد از سرد شدن لوله‌های آزمایش (در حمام یخ) ۴ میلی‌لیتر تولوئن به هر لوله اضافه و به مدت ۱۰ دقیقه ورتکس شدند. سپس میزان جذب درطول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد. در نهایت مقدار پرولین بر اساس نمودار استاندارد پرولین و بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر برگ به دست آمد (Bates *et al.*, 1973).

قند محلول

در ابتدا برگ به مدت ۴۸ ساعت در داخل آون در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و پس از خشک شدن به ۰/۱ گرم از هر نمونه، ۱۰ میلی‌لیتر الکل ۷۰ درصد افزوده شد و به مدت یک هفته درون یخچال قرار داده شدند. با این عمل، قندهای محلول در اتانول حل گردیده و در بخش بالایی محلول جمع شدند، سپس ۱ میلی‌لیتر از بخش بالایی محلول برداشته و ۱ میلی‌لیتر فنل و ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ به محلول فوق اضافه شد. در پایان نیز جذب نوری محلول در طول موج ۴۸۵ نانومتر خوانده شد. محاسبه‌ی غلظت قندهای محلول نمونه‌ها بر اساس منحنی استاندارد، مقدار قند به صورت میلی‌گرم در گرم خشک نمونه‌ی گیاهی به دست آمد (Kochert, 1978).

آنتوسیانین

۰/۱ گرم بافت تازه برگ با استفاده از ازت مایع پودر و سپس ۱۰ میلی‌لیتر محلول متانول به اضافه اسید کلریدریک به نسبت ۱:۹۹ (۹۹ قسمت متانول، یک قسمت اسید) به آن اضافه شد و سپس ۲۴ ساعت در تاریکی در دمای ۴ درجه قرار گرفت، پس از ۲۴ ساعت در سانتریفیوژ با دور ۴۰۰۰ دور در دقیقه قرار داده و در نهایت میزان آنتوسیانین (بر حسب میکرومول بر گرم وزن تازه برگ) در طول موج ۵۵۰ نانومتر قرائت شد (Wagner, 1979).

اندازه‌گیری صفات مورفولوژیکی و رشدی

در پایان مرحله رشد کامل بوته‌ها (۸۵ روز پس از کاشت دانهال‌ها) صفات مورفولوژیکی گیاه اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری سطح برگ، از دستگاه سطح برگ‌سنج (مدل A30325) استفاده شد (Demirsoy *et al.*, 2004). برای تعیین حجم ریشه، پس از خروج بوته‌ها از گلدان، ریشه‌ها کاملاً شسته شد (جهت حذف ذرات خاک) و به آزمایشگاه منتقل شد و حجم ریشه‌ها بر اساس قانون ارشمیدس، با استفاده از قرار دادن ریشه در استوانه مدرج حاوی مقدار مشخصی آب، از روی میزان جابجا شدن آب، صورت گرفت. وزن تر برگ‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شدند. سپس، برای تعیین وزن خشک، نمونه‌ها در پاکت‌های کاغذی و در آون به مدت ۴۸ ساعت (در دمای درجه ۸۰ درجه سانتی‌گراد) قرار گرفتند و سپس توزین شدند (Rezaei Nejad and Ismaili, 2013).

آنالیزهای آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Minitab18 و مقایسات میانگین با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد به دست آمد. رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel 2019 انجام شد.

نتایج و بحث

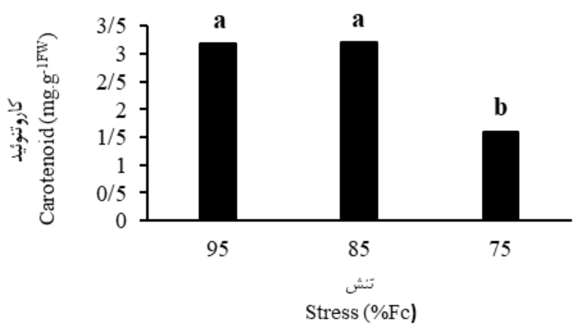
رنگدانه‌های فتوسنتزی

نتایج اثر متقابل تنش و سالیسیلیک اسید نشان داد که تغییرات میزان کلروفیل a، b و کل نسبت به شاهد، معنی‌دار شد (جدول ۱) و میزان کارتنوئید تحت تأثیر معنی‌دار تنش کم آبی قرار گرفت (شکل ۱). بیش‌ترین میزان کلروفیل a (۱۳/۷۳ میلی‌گرم بر گرم بافت تازه برگ) نسبت به شاهد، در غلظت ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در سطح آبیاری ۸۵ درصد و کم‌ترین میزان (۴/۰۱ میلی‌گرم بر گرم بافت تازه برگ) نسبت به شاهد، در سطح آبیاری ۷۵ درصد در غلظت ۰/۵

میلی‌مولار سالیسیلیک اسید مشاهده شد (جدول ۱). بیش‌ترین میزان کلروفیل b در تیمار شاهد با کاربرد غلظت ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید به میزان ۱۲/۰۲ میلی‌گرم بر گرم بافت برگ و کم‌ترین میزان (۴/۱۵ میلی‌گرم بر گرم بافت تازه برگ) نسبت به شاهد، متعلق به ظرفیت زراعی ۷۵ درصد (بدون کاربرد سالیسیلیک اسید) بود (جدول ۱). نتایج نشان داد که میزان کلروفیل کل در ظرفیت زراعی ۸۵ درصد، با کاربرد ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید، بیش‌ترین میزان کلروفیل کل (۲۵/۵۷ میلی‌گرم بر گرم بافت برگ) را نسبت به شاهد، به خود اختصاص داد که میزان افزایش نسبت به شاهد، ۸/۷۶ درصد بود (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر اصلی تنش کم آبی بر میزان کارتنوئید نشان داد که کم‌ترین میزان کارتنوئید در مقایسه با شاهد، (۱/۵۹ میلی‌گرم بر گرم بافت برگ) در سطح آبیاری ۷۵ درصد ظرفیت زراعی مشاهده گردید و بین سطوح آبیاری ۸۵ و ۹۵ درصد اختلاف معنی‌دار نبود (شکل ۱). کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی بر اثر تنش کم آبی توسط سایر محققان گزارش شده است (Keshavarsnia *et al.*, 2016). تخریب مولکول کلروفیل به علت جدا شدن زنجیره فیتولی از حلقه پورفیرین در اثر رادیکال‌های آزاد اکسیژن و یا آنزیم کلروفیلاز می‌باشد. از مهم‌ترین دلایل کاهش کلروفیل تخریب پروتئین‌های غشاء تیلاکوئید در اثر رادیکال‌های آزاد است که مانع انتقال الکترون از جایگاه پذیرنده فتوسیستم دو می‌گردد، سالیسیلیک اسید از طریق تحریک مسیر بیوسنتزی رنگدانه‌های فتوسنتزی و کاهش فعالیت آنزیم تجزیه کننده کلروفیل (کلروفیلاز) منجر به افزایش سنتز کلروفیل و محافظت از غشاء کلروپلاست در برابر تنش با حذف رادیکال‌های آزاد تخریب کننده می‌شود. همچنین با جلوگیری از فعالیت آنزیم ACC- سنتتاز، مانع از تشکیل اتیلن می‌شود و به دنبال آن از تخریب کلروفیل در شرایط تنش جلوگیری می‌کند (Roghami *et al.*, 2016).

پارامترهای کلروفیل فلورسانس

نتایج نشان داد که اثر متقابل تنش کم آبی و تیمار سالیسیلیک اسید بر تغییرات فلورسانس پایه (F0)، فلورسانس ماکزیمم (Fm) و فلورسانس متغیر (Fv) نسبت به شاهد، معنی‌دار شد (جدول ۱) و حداکثر کارایی فتوسیستم II (Fv/Fm) تحت تأثیر معنی‌دار تیمار سالیسیلیک اسید قرار گرفت. در سطح آبیاری ۷۵ درصد ظرفیت زراعی بدون کاربرد سالیسیلیک، بیش‌ترین میزان F0 (۱۰۵۳۶) نسبت به شاهد، وجود داشت و غلظت ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در ظرفیت زراعی ۹۵ درصد، کم‌ترین میزان F0 (۹۵۰۶/۰) را نسبت به شاهد، به خود اختصاص داد (جدول ۱). بیش‌ترین میزان Fm (۵۷۴۴۶) در سطح آبیاری ۹۵ درصد با کاربرد سالیسیلیک اسید در غلظت ۲ میلی مولار و کم‌ترین میزان (۵۰۳۸۹) در ظرفیت زراعی ۷۵ درصد بدون محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید، نسبت به شاهد وجود داشت (جدول ۱). بیش‌ترین میزان Fv نیز در ظرفیت زراعی ۹۵ درصد با کاربرد سالیسیلیک اسید در غلظت ۲ میلی‌مولار (به میزان ۴۶۶۴۷/۶۶) و کم‌ترین میزان این پارامتر (۴۲۳۶۷) در سطح آبیاری ۷۵ درصد ظرفیت زراعی، بدون محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید، در مقایسه با تیمار شاهد، مشاهده شد (جدول ۱). نتایج اثر اصلی سالیسیلیک اسید بر میزان Fv/Fm نشان داد که سالیسیلیک اسید موجب افزایش این پارامتر شد و بیش‌ترین میزان در غلظت ۱ میلی‌مولار وجود داشت (به میزان ۰/۸۲) و با غلظت ۲ میلی‌مولار اختلاف معنی‌دار نبود (شکل ۲).



شکل ۱- اثر تیمار کم آبی بر میزان کارتنویید گیاه عروسک پشت پرده

Figure 1- The effect of the deficit water stress on the carotenoid content of *Physalis pruviana* L. (Tukey, $p\leq0.05$)

جدول ۱- اثر متقابل تیمار کم آبی × سالیسیلیک اسید بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی عروسک پشت پرده

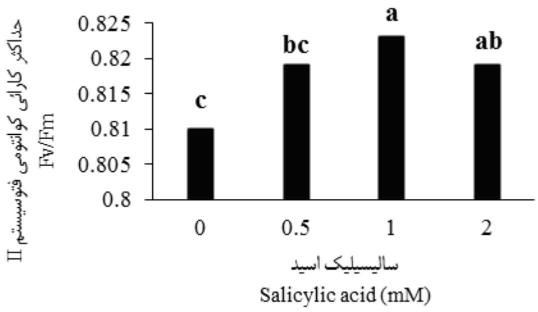
Table 1- The interaction effect of the deficit irrigation ×salicylic acid on the physiological and biochemical traits of *Physalis pruviana* L.

ظرفیت زراعی FC (%)	سالیسیلیک اسید (Salicylic acid) (mM)	کلروفیل a Chl a ($mg.g^{-1}$FW)	کلروفیل b Chl b ($mg.g^{-1}$ FW)	کلروفیل کل Total Chl ($mg.g^{-1}$ Fw)	فلورسانس پایه F0	فلورسانس بیشینه Fm	فلورسانس متغیر Fv	وزن تر میوه Fruit fresh weight ($g.plant^{-1}$)	وزن خشک میوه Fruit dry weight ($g.plant^{-1}$)	تعداد میوه Fruit number	ویتامین ث Vitamiv C ($mg.g^{-1}$)	پرولین Proline ($\mu mol.g^{-1}$ FW)	قند محلول اندام هوایی Shoot soluble sugars ($mg.g^{-1}$ DW)
95	0	9.78^{e*}	6.88^{e}	18.30^{e}	9523.0^{f}	56322.3^{b}	43532.0^{g}	8.20^{f}	1.653^{bc}	25.00^{b}	5.35^{d}	4.14^{i}	0.17^{c}
	0.5	10.18^{de}	7.63^{de}	18.45^{e}	9540.0^{f}	57344.0^{a}	43286.0^{g}	8.60^{e}	1.70^{b}	24.00^{c}	5.38^{d}	4.45^{h}	0.185^{bc}
	1	10.50^{cd}	9.78^{b}	21.60^{c}	9506.0^{f}	56456.0^{b}	45227.7^{cd}	12.46^{a}	2.123^{a}	25.66^{a}	5.42^{d}	4.74^{g}	0.181^{bc}
	2	10.55^{bc}	12.02^{a}	23.51^{b}	9537.3^{f}	57446.0^{a}	46647.7^{a}	8.90^{d}	2.196^{a}	24.00^{c}	5.45^{d}	4.93^{f}	0.181^{bc}
85	0	10.23^{de}	7.74^{d}	18.86^{de}	9658.3^{e}	50676.0^{f}	44155.3^{f}	7.84^{g}	0.940^{e}	25.00^{b}	7.26^{c}	5.85^{d}	0.185^{bc}
	0.5	10.91^{c}	8.59^{c}	19.69^{d}	9559.3^{f}	50834.0^{f}	44812.3^{de}	8.59^{e}	1.676^{bc}	25.00^{b}	7.32^{c}	5.54^{e}	0.19^{b}
	1	11.82^{b}	11.25^{a}	21.72^{c}	9539.7^{f}	51901.7^{e}	43262.0^{g}	10.59^{b}	1.706^{b}	25.66^{a}	7.27^{c}	5.43^{e}	0.192^{b}
	2	13.73^{a}	11.83^{a}	25.57^{a}	9552.0^{f}	53450.3^{d}	45575.0^{bc}	8.34^{f}	1.580^{c}	23.33^{d}	7.11^{c}	5.43^{e}	0.215^{a}
75	0	4.94^{f}	4.15^{g}	9.48^{h}	10536.7^{a}	50389.0^{f}	42367.0^{h}	7.47^{h}	0.733^{f}	15.00^{f}	9.23^{a}	6.61^{a}	0.218^{a}
	0.5	4.01^{f}	4.29^{g}	9.68^{h}	9826.7^{d}	53501.0^{cd}	45991.7^{b}	7.87^{g}	0.753^{f}	15.00^{f}	8.28^{b}	6.36^{b}	0.214^{a}
	1	5.08^{f}	4.41^{g}	10.65^{g}	10361.3^{b}	54254.7^{cd}	44754.0^{de}	9.53^{c}	1.640^{bc}	15.66^{e}	9.11^{a}	6.28^{bc}	0.214^{a}
	2	5.26^{f}	5.99^{f}	11.81^{f}	9943.3^{c}	54382.3^{c}	44499.3^{ef}	8.31^{f}	1.320^{d}	16.00^{e}	9.26^{a}	6.17^{c}	0.191^{b}

*میانگین‌های دارای حروف مشترک بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون توکی می‌باشند.

In each column, means followed by the sme letter have not significant different based on Tukey test at 5% of probability level.*

افزایش F0 و کاهش سایر شاخص‌های کلروفیل فلورسانس را در شرایط تنش خشکی و افزایش نسبت کلروفیل فلورسانس با کاربرد سالیسیلیک اسید توسط سایر محققان مشاهده شده است که با نتایج حاضر مطابقت دارد (Khademian Keshavarsnia *et al.*, 2016; and Sedaghati, 2019). مقادیر بالای F0 به این معناست که زنجیره فتوسیستم II در اثر کاهش ظرفیت کوئینون آ و عدم اکسیداسیون کامل آن به دلیل جریان کند الکترون در طول مسیر فتوسیستم II آسیب دیده است. Fm نیز در اثر تابش فوتون‌های نوری و احیای همه ناقل‌های الکترون و بسته بودن همه مراکز واکنشی ایجاد می‌شود و Fm بالاتر باشد به این معناست که عملکرد فلورسانس بیش‌تر بوده و ظرفیت پذیرش الکترون آن بالاتر است. Fv احیای کامل پذیرنده‌های الکترون (کوئینون آ) را نشان می‌دهد، زمانی که پذیرنده‌های الکترون در حال اکسید شدن باشند، مقدار Fv کاهش می‌یابد. کاهش پارامتر Fv/Fm در شرایط تنش، نشان دهنده کاهش کارایی فتوسیستم II و آسیب به کلروپلاست و کاهش کلروفیل می‌باشد (Afsharmohamadian *et al.*, 2018). افزایش فلورسانس در زمان محلولپاشی سالیسیلیک اسید به علت اثر مثبت این هورمون بر بیوسنتز، جذب و انتقال یون‌ها و تغییر در فعالیت آنزیم‌های دخیل در فتوسنتز و حفظ ساختار کلروپلاست است، سالیسیلیک اسید از طریق تأثیر بر رفتار روزنه‌ای، افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو، افزایش تثبیت کربن و افزایش سنتز کلروفیل موجب افزایش فعالیت و کارایی سیستم فتوسنتزی گیاه می‌شود (Nematollahi *et al.*, 2012).



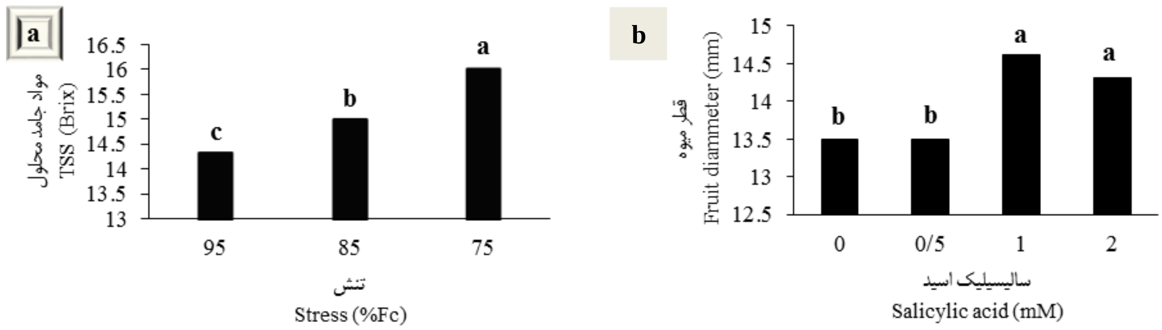
شکل ۲- اثر تیمار سالیسیلیک اسید بر کارایی کوانتومی فتوسیستم II گیاه عروسک پشت پرده

Figure 2- The effect of salicylic acid on Fv/Fm of *physalis pruviana* L. (Tukey, $p \le 0.05$)

صفات اندازه‌گیری شده میوه

نتایج نشان داد که اثر متقابل تیمارها بر وزن تر و خشک میوه، تعداد میوه و ویتامین ث میوه معنی‌دار بود (جدول ۱). اثرات اصلی تنش کم آبی و سالیسیلیک اسید برای قطر میوه در سطح یک درصد معنی‌دار شد و میزان مواد جامد محلول میوه تحت تأثیر معنی‌دار تنش کم آبی قرار گرفت. بیش‌ترین میزان وزن تر (۱۲/۴۶ گرم در بوته) نسبت به شاهد، در غلظت ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در سطح آبیاری ۹۵ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد (جدول ۱). محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در ظرفیت زراعی ۹۵ درصد، بیش‌ترین مقدار وزن خشک میوه (۲/۱۹ گرم در بوته) را در مقایسه به شاهد، به خود اختصاص داد و کم‌ترین میزان وزن خشک (۰/۷۳۳ گرم در بوته) متعلق به ظرفیت زراعی ۷۵ درصد، بدون محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بود. در ظرفیت زراعی ۹۵ درصد، محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در غلظت ۱ میلی‌مولار بیش‌ترین تعداد میوه (۲۵/۶۶ میوه در بوته) را به خود اختصاص داد و کم‌ترین تعداد میوه (۱۵میوه در بوته) در ظرفیت زراعی ۷۵ درصد، نسبت به شاهد، مشاهده گردید. بررسی میزان ویتامین ث میوه نشان داد که بیش‌ترین مقدار ویتامین ث (۹/۲۶ میلی‌گرم بر گرم وزن میوه) در سطح آبیاری ۷۵ درصد با کاربرد سالیسیلیک اسید در غلظت ۲ میلی مولار و کم‌ترین مقدار ویتامین (۵/۳۵ میلی گرم بر گرم وزن میوه) در ظرفیت زراعی ۹۵ درصد و عدم کاربرد سالیسیلیک اسید مشاهده شد (جدول ۱). بیش‌ترین میزان مواد جامد محلول (۱۶ درجه بریکس) نیز در سطح آبیاری ۷۵ درصد مشاهده گردید (شکل ۳-a). نتایج بررسی اثر ساده سالیسیلیک اسید بر قطر میوه نشان دهنده افزایش قطر میوه با کاربرد سطح ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید، به میزان ۱۴/۰۴ میلی‌متر بود و بین غلظت‌های ۱ و ۲ میلی‌مولار اختلاف معنی‌دار وجود نداشت (شکل ۳-b). تنش کم آبی در گوجه فرنگی و فلفل دلمه‌ای نیز موجب افزایش مواد جامد محلول و ویتامین ث شد (Javaheri *et al.*, 2012; Shao *et al.*, 2015; Daneshpajouh *et al.*, 2018). تنش آبی طی دوره گلدهی با محدود کردن توزیع مواد غذایی به اندام‌های زایشی و تأثیر بر تعداد گل و به تبع آن تعداد میوه و طی دوره میوه‌دهی با اثر بر وزن میوه، عملکرد را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Garcia-Garizabal *et al.*, 2011). سالیسیلیک اسید به دلیل ماهیت آن در تشکیل میوه در تمام محصولات مؤثر بوده و در صورت

استفاده از سالیسیلیک اسید در شرایط تنش درصد بالاتری از میوه‌های تشکیل شده، حفظ خواهند شد یا درصد بیش‌تری از گل‌ها تبدیل به میوه می‌شوند (Javaheri *et al.*, 2012). کاهش محتوای آب خاک و پتانسیل آب باعث کاهش تقسیم سلولی و رشد گیاه و در نتیجه کاهش وزن، قطر و طول میوه می‌گردد، که کاهش عملکرد را در پی دارد. تنش کم آبی موجب کاهش تقسیمات سلولی در گیاه و درنتیجه مانع از آماس سلولی می‌شود و به همین دلیل تواند منجر به کاهش قطر میوه شود. از طرفی اسید سالیسیلیک از هورمون‌های محرک رشد گیاهی است که بر تقسیم سلولی و حجیم شدن سلول‌ها تأثیر مستقیم دارد، لذا در شرایط تنش خشکی می‌تواند اثرات سوء تنش را کاهش داده و موجب افزایش قطر میوه گردد (Alvarez *et al.*, 2011). اسید آسکوربیک (ویتامین ث) از جمله ترکیبات آنتی اکسیدان است که از تخریب بافت‌ها توسط رادیکال‌های آزاد جلوگیری می‌کند، که میزان آن در شرایط خشکی در جهت کاهش آثار مخرب تنش افزایش یافته است. افزایش مواد جامد محلول تحت شرایط کم‌آبی، کاهش تعداد میوه در اثر ریزش گل و در نتیجه افزایش نسبت کربوهیدرات به میوه می‌باشد (Garcia-Garizabal *et al.*, 2011).



شکل ۳- اثر تیمار کم آبی بر مواد جامد محلول میوه (a) و تیمار سالیسیلیک اسید بر قطر میوه (b) گیاه عروسک پشت پرده

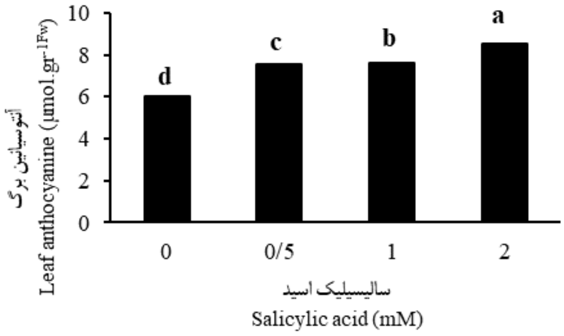
Figure 3- The effect of deficit water stress on the Total Soluble Solid (a) and the effect of salicylic acid on fruit diameter (b) of *Physalis pruviana* L. (Tukey, $p \leq 0.05$)

صفات بیوشیمیایی

نتایج نشان دهنده معنی‌دار بودن اثر متقابل تنش کم آبی و سالیسیلیک اسید بر تغییرات میزان پرولین و قند محلول (جدول ۱) نسبت به شاهد بود و اثرات اصلی تنش و سالیسیلیک اسید بر آنتوسیانین برگ معنی‌دار شد. مقایسات میانگین نشان داد که در ظرفیت زراعی ۷۵ درصد، بدون محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بیش‌ترین میزان پرولین (۶/۶۱ میکرومول بر گرم بافت تازه برگ)، را به خود اختصاص داد و در سطح آبیاری ۹۵ درصد، غلظت ۲ میلی مولار سالیسیلیک اسید، کم‌ترین میزان پرولین (۴/۱۴ میکرومول بر گرم بافت برگ) را نسبت به شاهد، نشان داد (جدول ۱). کم‌ترین میزان قند محلول (۰/۱۷ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ) متعلق به ظرفیت زراعی ۹۵ درصد، بدون تیمار سالیسیلیک اسید و بیش‌ترین میزان (۰/۲۱۸ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ) متعلق به تنش ۷۵ درصد ظرفیت زراعی و بدون کاربرد سالیسیلیک اسید در مقایسه با شاهد بود (جدول ۱). اثر اصلی سالیسیلیک اسید بر آنتوسیانین برگ نشان داد که بیش‌ترین میزان آنتوسیانین (۹/۱۵۴ میکرومول بر گرم بافت تازه برگ) در غلظت ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید مشاهده گردید که نسبت به سایر سطوح محلول‌پاشی اختلاف معنی‌دار وجود داشت (شکل ۴). در مطالعات انجام شده توسط سایر محققان، افزایش قند محلول، پرولین و آنتوسیانین برگ در شرایط تنش کم آبی گزارش شده است (Khosrowshahi *et al.*, 2018; Kammouna *et al.*, 2020). پرولین، یک شاخص برای ارزیابی میزان اثر تنش در گیاه است، که نقش مهمی در تنظیم اسمزی و محافظت از آنزیم‌ها و غشاءها ایفا می‌کند (Amini *et al.*, 2015). یکی از عوامل افزایش پرولین در شرایط تنش، فعال شدن مسیر بیوسنتزی گلوتامیک اسید- پرولین نسبت به مسیر گلوتامیک اسید- کلروفیل و در نتیجه رقابت آنزیم گلوتامیل کیناز (آنزیم کاتالیز کننده پرولین) و آنزیم گلوتامات لیگاز (آنزیم فعال در مسیر بیوسنتزی کلروفیل) در شرایط تنش است. تنظیم اسمزی نوعی سازگاری با تنش کمبود آب است که از طریق تجمع مواد محلول درون سلول‌ها، می‌تواند به حفظ تورژسانس سلول ها منجر شود و قندهای محلول به‌عنوان ثبات‌دهنده غشاءهای سلولی و حفظ کننده تورژسانس سلولی عمل می‌کنند (Hafeez *et al.*, 2013). در شرایط تنش، رنگدانه آنتوسیانین در برگ تجمع می‌یابد. از نقش‌های اصلی آنتوسیانین می‌توان به نقش آنتی‌اکسیدانی و محافظ سیستم فتوسنتزی در برابر اکسیداسیون نوری اشاره کرد (He *et al.*, 2010). کاهش محتوای پرولین و قند محلول در گیاه تیمار شده با سالیسیلیک اسید تحت شرایط تنش، نشان دهنده خروج گیاه از وضعیت تنش می‌باشد و با افزایش هورمون‌هایی از جمله آبسیزیک

اسید، میزان پرولین را کنترل کرده و بنابراین نقش خود را در آماده سازی گیاه، جهت مقابله با تنش ایفا می‌کند. سالیسیلیک اسید در شرایط تنش، با تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدان فنولی و آنتوسیانین‌ها به طور مستقیم، موجب حذف رادیکال‌های آزاد شده و به همین علت تجمع موادی مانند پرولین و قند محلول را کاهش می‌دهند.

آنتوسیانین‌ها از ساختارهای حساس مانند غشاءها و از زوال کلروفیل جلوگیری کرده و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را افزایش و فعالیت آنزیم‌هایی از جمله گلوتاتیون- اس- ترنسفراز و سوپر اکسید دیسموتاز را تحریک می‌کنند (Nouri *et al.*, 2017).



شکل ٤- اثر تیمار سالیسیلیک اسید بر میزان آنتوسیانین برگ گیاه عروسک پشت پرده

Figure 4- The effect of the salicylic acid on the leaf anthocyanin content of *Physalis pruviana* L. (Tukey, *p≤0.05*)

صفات رشدی

نتایج بیانگر معنی‌دار بودن اثر تنش کم آبی و تیمار سالیسیلیک اسید بر تغییرات وزن تر و خشک برگ، ارتفاع بوته، سطح برگ و حجم ریشه نسبت به شاهد بود (جدول ۲). کاربرد سالیسیلیک اسید در غلظت ۲ میلی‌مولار در سطح آبیاری ۹۵ درصد ظرفیت زراعی بیش‌ترین وزن تر برگ (به میزان ۷۶/۰۲ گرم) و وزن خشک برگ (به میزان ۱۴/۸۶ گرم) را نسبت به شاهد به خود اختصاص داد (جدول ۲) و کم‌ترین میزان وزن تر برگ (۳۵/۶۷ گرم) و وزن خشک برگ (۶/۸۰ گرم) در ظرفیت زراعی ۷۵ درصد بدون کاربرد سالیسیلیک اسید نسبت به شاهد، مشاهده شد. در مقایسه با تیمار شاهد، بیش‌ترین حجم ریشه (۳۶/۶۶ سانتی‌متر مکعب) در ظرفیت زراعی ۷۵ درصد (بدون کاربرد سالیسیلیک اسید) و کم‌ترین میزان حجم ریشه (۲۶/۰۰ سانتی‌متر مکعب) در غلظت ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در ظرفیت زراعی ۸۵ درصد مشاهده شد. بیش‌ترین سطح برگ (۲۵/۵۰ سانتی متر مربع) و ارتفاع بوته (۶۸/۳۳ سانتی‌متر) در ظرفیت زراعی ۹۵ درصد متعلق به غلظت ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بود و در ظرفیت زراعی ۷۵ درصد، بدون کاربرد سالیسیلیک اسید کم‌ترین سطح برگ (۹/۲۱ سانتی‌متر مربع) و ارتفاع بوته (۳۵/۳۳ سانتی‌متر) نسبت به شاهد، مشاهده گردید (جدول ۲). گزارشات ارائه شده توسط محققان حاکی از اثر منفی تنش کم آبی بر صفات رشدی توت فرنگی از جمله سطح برگ و وزن تر و خشک برگ می‌باشد (Rafieepour *et al.*, 2019) که مطابق با نتایج حاصل از پژوهش است. تنش کم آبی موجب کاهش فشار تورژسانس سلول‌های ساقه می‌شود، در نتیجه تولید مواد اصلی فتوسنتز نیز کم می‌شود، که به دنبال آن طول میانگره‌های ساقه و در نتیجه طول بوته کاهش می‌یابد. کاهش سطح برگ در شرایط تنش پاسخی رایج است، که در نتیجه کاهش اندازه و همچنین تعداد سلول‌ها اتفاق می‌افتد و در نهایت موجب کاهش سطح تعرق‌کننده می‌شود (Osakabe *et al.*, 2014). سالیسیلیک از طریق سنتز پروتئین‌های خاصی به نام پروتئین کیناز (وظیفه تقسیم، تمایز و ریخت‌زایی سلول را بر عهده دارد) فرآیندهای فیزیولوژیکی مختلفی مثل رشد و تکامل گیاه را تنظیم کرده و نقش مؤثری در افزایش ارتفاع گیاه برعهده دارد. سالیسیلیک اسید موجب افزایش ارتفاع بوته گوجه فرنگی و توت فرنگی شد (Hafeznia *et al.*, 2014; Mozafari *et al.*, 2018). رفتار ریشه گیاه تحت تأثیر تنش رطوبتی خاک قرار دارد و با افزایش تنش رطوبتی به عنوان یک عامل محدودکننده، ریشه‌ها به دنبال رطوبت بوده و در عمق محیط ریشه که رطوبت بیش‌تری در دسترس است توسعه بیش‌تری یافته‌اند، به‌طوری که وقتی رشد اندام‌های هوایی متوقف شده باشد، رشد ریشه ادامه پیدا می‌کند. کاهش وزن تر و خشک به دلیل کاهش سطح فتوسنتز کننده، کاهش هدایت روزنه‌ای (Sajjadinia *et al.*, 2010) و کاهش فتوسنتز (Nouri *et al.*, 2017) است. در اثر تیمار سالیسیلیک اسید فعالیت آنزیم کربنیک آنهیدراز (CA) که تبدیل دی اکسید کربن به HCO_3 و بالعکس را کاتالیز می‌کند بیش‌تر می‌شود. این آنزیم در دیواره سلولی باعث ترکیب دی اکسید کربن با آب و تشکیل اسید کربنیک می‌شود و در محل کربوکسیلاسیون باعث تجزیه اسید کربونیک و آزاد شدن کربن دی اکسید می‌شود. از آن‌جا

که ماده اصلی برای آنزیم روبیسکو CO_2 است. بنابراین می‌توان گفت که ارتباط مستقیمی بین فعالیت آنزیم CA و فتوسنتز خالص وجود دارد. همچنین سالیسیلیک با القای هورمون‌هایی از جمله اکسین و سیتوکینین می‌تواند به افزایش وزن گیاه کمک کند (Mozafari *et al.*, 2018).

جدول ۲- اثر متقابل تنش کم آبی × سالیسیلیک اسید بر صفات رشدی گیاه عروسک پشت پرده

Table 2- The interaction effect of the deficit water stress ×salicylic acid on the morphological traits of *Physalis pruviana* L.

ظرفیت زراعی FC (%)	سالیسیلیک اسید Salicylic acid (mM)	حجم ریشه Root volume (cm^3)	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	سطح برگ Leaf area (cm^2)	وزن خشک برگ Leaf dry weight (g)	وزن تر برگ Leaf fresh weight (g)
95	0	30.66^{bc}	60.00^{d}	15.00^{de}	10.12^{ef}	49.83^{e}
	0.5	30.0^{b-d}	61.33^{c}	15.90^{cd}	11.33^{cd}	51.95^{d}
	1	31.33^{b}	66.00^{b}	22.16^{b}	12.98^{b}	68.92^{b}
	2	31.66^{b}	68.33^{a}	25.50^{a}	14.86^{a}	76.02^{a}
85	0	31.33^{b}	38.66^{i}	13.39^{fg}	7.33^{ij}	38.18^{i}
	0.5	30.66^{bc}	42.66^{g}	13.41^{fg}	10.01^{ef}	48.81^{e}
	1	26.00^{e}	44.33^{f}	14.30^{ef}	10.66^{de}	51.89^{d}
	2	27.00^{de}	48.66^{e}	16.47^{c}	12.06^{bc}	53.86^{c}
75	0	36.66^{a}	35.33^{k}	9.21^{i}	6.80^{j}	35.67^{j}
	0.5	32.33^{b}	37.33^{j}	9.66^{i}	7.94^{hi}	40.69^{h}
	1	30.66^{bc}	41.33^{h}	11.80^{h}	8.89^{gh}	44.67^{g}
	2	27.6^{c-e}	42.33^{gh}	13.27^{g}	9.57^{fg}	47.30^{f}

میانگین‌های دارای حروف مشترک بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون توکی می‌باشند.

In each column, means followed by the sme letter have not significant different based on Tukey test at 5% of probability level.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده، کاربرد سالیسیلیک اسید در شرایط تنش کم آبیاری، به عنوان یک بهبود دهنده رشد و تعدیل کننده تنش، در سطوح آبیاری ۸۵ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی، نتایج مطلوبی نشان داد و موجب بهبود صفات فیزیولوژیکی از جمله افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل و کارتنویید)، فلورسانس ماکزیمم، فلورسانس متغیر و حداکثر کارایی فتوسیستم II و بهبود صفات بیوشیمیایی (پرولین، قند محلول و آنتوسیانین برگ) در غلظت ۲ میلی مولار و افزایش صفات میوه (وزن تر و خشک، تعداد میوه، ویتامین ث و قطر میوه) در غلظت ۱ میلی‌مولار شد. بررسی صفات رشدی و مورفولوژیکی نیز بیانگر افزایش وزن تر و خشک برگ، سطح برگ، ارتفاع بوته در غلظت ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در سطوح ۸۵ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی بود. بنابراین می‌توان در صورت کشت گیاه عروسک پشت پرده در مناطق خشک و نیمه خشک با سطوح آبیاری ۷۵ و ۸۵ درصد ظرفیت زراعی، از سالیسیلیک اسید برای کاهش اثرات مخرب تنش کم آبی و افزایش کمیت و کیفیت میوه استفاده نمود.

منابع

1- Abdi, S. (2020). Effect of salicylic acid on Yield and essential oil of Fenugreek in deficit irrigation conditions. *Science and Technology of Greenhouse Cultivation* *10*(4): 37-51. (In Persian). https://doi.org/10.47176/jspi.10.4.18481.

2- Afsharmohamadian, M., Omidipour, M., & Jamalomidi, F. (2018). Effect of different levels of drought stress on florescent parameter in two cultivars of phseolus (*Phaseolus vulgaris* L.), *Iran Biology Journal (Plant Reaserch Journal)* *31*(3). https://doi.org/20.1001.1.23832592.1397.31.3.3.3.

3- Alvarez, S., Navarro, A., Nicola, S.E., & Sanchez-Blanco, M.J. (2011). Transpiration, photosynthetic responses, tissue water relations and dry mass partitioning in Callistemon plants during drought conditions. *Science Horticulture Journal* 129: 306–312. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.03.031.

4- Amini, S., Ghobadi, C., & Yamchi, A. (2015). Proline accumulation and osmotic stress: an overview of P5CS gene in plants. *Journal Plant Molecular Breeding* 3: 44–55. https://doi.org/10.22058/JPMB.2015.17022.

5- Bates, L.S., Waldren, R.P., & Teare, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Journal of Plant and Soil* 39: 205–207. https://doi.org/10.1007/bf00018060.

6- Daneshpajouh, P., Ghasemi, A., Nouree, M., & Barzegar, R. (2018). Effect of Partial irrigation of root zoon and zeolite on water use efficiency and physiological of Sweet peper. *Journal of Water and Soil (Agricultural Science*

and Industry) 32(4): 675-690. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jsw.v32i4.69640.
7- Demirsoy, H., Demirsoy, L., Uzun, S., & Ersoy, B. (2004). Non-destructive leaf area estimation in Peach. *European Journal of Horticulture Sciences 69*(4):144-146. https://doi.org/10.2307/24126190.
8- Deveci, M., & Celik, A. (2016). The effects of different water deficiency on physiological and chemical changes in Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) which were grown in greenhouse conditions. *Science Agriculture Journal 14*(2): 260-265. https://doi.org/10.15192/PSCP.SA.2016.14.2.260265.
9- Garcia-Garizabal, I., Causape, J., & Abrahao, R. (2011). Application of the irrigation land environmental evaluation tool for flood irrigation management and evaluation of water use. *Catena Journal 87*(2): 260–267. https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.06.010.
10- Gine-Bordonaba, J., & Terry, L.A. (2016). Effect of deficit irrigation and methyl jasmonate application on the composition of strawberry (*Fragaria×ananassa*) fruit and leaves. *Science of Horticulture* 199: 63-70. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.12.026.
11- Hafeez, B., Khanif, Y.M., & Saleem, M. (2013). Role of zinc in plant nutrition - a review. *American Journal of Experimental Agriculture* 3: 374-391. https://doi.org/10.1007/s11104-016-3166-9.
12- Hafeznia, M., Mashayekhi, K., & Ghaderifar, F. (2014). Investigashion the effect of time of salicylic acid spray on some pigments and morphological traits of fruit in Tomato. *Journal of Plant Production 22*(2). (In Persian). https://doi.org/10.12692/ijb/5.9.237-243.
13- He, F., Mu, L., Yan, G.L., Liang, N., Pan, Q., Wang, J., Reeves, M., & Duan, C. (2010). Biosynthesis of anthocyanin's and their regulation in colored grapes. *Molecules Journal* 15: 9057-9091. https://doi.org/10.3390/molecules15129057.
14- Hernandez, E.A., & Uddameri, V. (2010). Selecting Agricultural Best Management Practices for Water Conservation and Quality Improvements Using Atanassov's Intuitionistic Fuzzy Sets. *Water Research Management* 24: 4589–4612. https://doi.org/10.1007/s11269-010-9681-1.
15- Javaheri, M., Mashayekhi, K., Dadkhah, A., & Zaker Tavallaee, F. (2012). Effects of salicylic acid on yield and quality characters of tomato fruit (*Lycopersicum esculentum* Mill.). *International Journal of Agriculture and Crop Science.* 4-16/1184-1187. https://doi.org/ijagcs.com/21.2015/2012.1184-1187.
16- Kalaji, H., Rastogi, A., Zivcgk, M., & Brestic, M. (2018). Prompt chlorophyll fluorescence as a tool for crop phenotyping: An example of barley landraces exposed to various abiotic stress factors. *Photosynthetica Journal* [CrossRef]. https://doi.org/10.1007/s11099-018-0766-z.
17- Kammouna, M., Bouallousa, O., Fakhri Ksourib, M., Gargouri-Bouzida, R., & Nouri-Ellouz, O. (2018). Agro-physiological and growth response to reduced water supply of somatic hybrid potato plants (*Solanum tuberosum* L.) cultivated under greenhouse conditions. *Agriculture Water Management* 203: 9–19. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.02.032.
18- Keshavarsnia, R., Payghambary, A., & Bihamta, M.R. (2016). Effect of drought stress in beginning of season and reirrigation on chlorophyll florescent and some physiological traits of Wheat. *Journal of Iranian Crop Science 48*(1): 39-45. (In Persian). https://doi.org/10.22059/IJFCS.2017.202541.654065.
19- Khademian, R., & Sedaghati, B. (2019). Evaluation the effect of modifiering in drought stress by using of salicylic acid in Marytighal. P. 212-215. In The first national conference on new idease of agriculture and natural resources. November 2019. Mohaghegh Ardabili University, Iran.
20- Khosrowshahi, Z.H., Ghassemi-Golezani, K., Salehi-Lisar, S.V., &·Motafakkerazad, R. (2020). Changes in antioxidants and leaf pigments of safower (*Carthamus tinctorius* L.) afected by exogenous spermine under water defcit. *Biologia Futura Journal 2*(12): 66-82. https://doi.org/10.1007/s42977-020-00039-z.
21- Kochert, G. (1978). Carbohydrate determination by the phenol-sulfuric acid method. *Handbook of Physiological Methods* 2: 95-97. 197. https://cir.nii.ac.jp/crid/1570572700792185472.
22- Krall, J.P., & Edwards, G.E. (1992). Relationship between photosystem II activity and CO_2 fixation in leaves. *Physiology Plant Journal* 86: 180-187. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1992.tb01328.x.
23- Leng, P., Itamura, H., Yamamura, H., & Deng, M.X. (2000). Anthocyanin accumulation in apple and peach shoots during cold acclimation. *Science of Horticulture Journal* 83: 4350. https://doi.org/10.1016/S0304-4238(99)00065-5.
24- Lichtenthaler, H.K. (1987). Chlorophylls and cartenoides pigments of hotosynthetice biomembranes. *Method in Enzymology* 148: 350-382. https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1.
25- Mozafari, A., Dedejani, S., & Ghaderi, N. (2018). Positive responses of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) explants to salicylic and iron nanoparticle application under salinity conditions. *Plant Cell Tissue and Organ Cultivation Journal* 134: 267–275. https://doi.org/10.1007/s11240-018-1420-y.
26- Nematollahi, E., Jafari, A., & Bagheri, A. (2012). Effect of drought stress and salicylic acid on photosynthesis pigments and macronutrients absorption in two sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars. *Journal of Plant Ecophysiology* 5: 37-51. (In Persian). https://doi.org/10.22122/jrrs. v10i3.1376.
27- Nooraee, Z., & Ghaderi, N. (2013). *Interaction of manure and nitroxin on some physiological traits of strawberries under drought stress*. P. 267-27. In Conference on Agricultural research finding. Aguste 2013.

Kurdistan University, Sanandej, Iran.

28- Nouri, A., Nezami, A., Kafi, M., & Hassanpanah, D. (2017). Evaluation of water deficit tolerance of 10 potatoes (*Solanum tuberosum* L.) cultivars based on some physiological traits and tuber yield in Ardabil region. *Journal of Crop Ecophysiology 10*(1): 234-268. https://doi.org/10.55006/biolsciences.2022.2305.

29- Osakabe, Y., Osakabe, K., Shinozaki, K., & Tran, L.S.P. (2014). Response of plants to water stress. *Front. in Plant Science* 5: 86. https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00086.

30- Padilla-Rivera, A., Morgan-Sagastume, J.M., Noyola, A., & Guereca, L.P. (2016). Addressing social aspects associated with wastewater treatment facilities. *Environmental Impact Assessment Review* 57: 101–113. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2015.11.007.

31- Plazek, A., Rapacz, M., & Hura, K. (2004). Relationship between quantum efficiency of PSII and cold-induced plant resistance to fungal pathogens. *Acta Physiology Plantrum Journal* 26: 141–148. https://doi.org/org/10.1007/s11738-004-0003-1.

32- Raeini-Sarjaz, M., & Chalavi, V. (2011). Effects of water stress and constitutive expression of a drought induced chitinase gene on water use efficiency and carbon isotope composition of strawberry. *Applied of Botany and Food Quality Journal* 84: 90-94. https://doi.org/10.4328/2011.July.27.3.

33- Rafieepour, M., Gholami, M., & Sarikhani, H. (2019). Effect of deficit irrigation on some morphological and physiological trats of Strawberry. *Journal of plant production (Iranian Biology Journal) 31*(4): 822-837. (In Persian). https://doi.org/20.1001.1.23832592.1397.31.4.6.8.

34- Rahdari, P., Tavakoli, S., & Hosseini, S.M. (2012). Studying of salinity stress effect on germination, proline, sugar, protein, lipid and chlorophyll content in purslane (*Portulaca oleracea* L.) leaves. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry 8*(1): 182-193. https://doi.org/10.5897/JMPR11.698.

35- Rezaei Nejad, A., & Ismaili, A. (2013). Changes in growth, essential oil yield and composition of geranium (*Pelargonium graveolens* L.) as affected by growing media. *Journal of Science Food Agriculture* 94: 905–910. https://doi.org/10.1002/jsfa.6334.

36- Roghami, M., Estaji, A., Bagheri, V., & Ariakia, E. (2016). Effect of salinity stress and salicylic acid on some morphological traits of eggplant (*Solanum melongena* var. Taki) in soiless culture system. *Journal of Science and Technology of Greenhous Cultures 7*(27): 77-87. https://doi.org/10.18869/acadpub.ejgcst.7.27.77.

37- Sajjadinia, A., Ershadi, A., Hokmabadi, H., Khayyat, M., & Gholami, M. (2010). Gas exchange activities and relative water content at different fruit growth and developmental stages of on and off cultivated pistachio trees. *Australian Journal of Agriculture Engineering 178*(1): 1-6. https://doi.org/1560–8530/2007/09–2–352–354.

38- Samani, R., Javid, A., & Shabani, M. (2020). Effect of different concentration of salicylic acid on increasing drought tolerance in fig. *Plant Ecophysiology Journal* 40: 28-39. (In Persain). https://doi.org/20.1001.1.23832592.1398.32.4.17.6.

39- Segura-Monroy, S., Uribe-Vallejo, A., Ramirez-Godoy, A., & Restrepo-Diaz, H. (2011). Effect of Kaolin application on growth, water Use efficiency, and leaf epidermis characteristics of (*Physalis peruviana* L.) seedlings under two Irrigation regimes. *Journal of Agriculture Science Technology* 17: 1585-1596. https://doi.org/20.1001.1.16807073.2015.17.6.7.8.

40- Shao, G.C., Deng, S., Liu, N., Wang, M.H., & She, D.L. (2015). Fruit Quality and Yield of Tomato as Influenced by Rain Shelters and Deficit Irrigation. *Journal of Agriculture Science Technology* 17: 691-704. https://doi.org/10.4236/ajps.2011.23040.

41- Ting, S.U., & Russeff, L. (1981). Citrus Fruit and Their Products Analysis Technology. *Food and Science Technology* 124-142. https://doi.org/10.1080/10408398309527366.

42- Wagner, G.J. (1979). Content and vacuole/extra vacuoles distribution of neutral sugars, free amino acid, and anthocyanins in protoplast. *Plant Physiology Journal* 64: 88-93. https://doi.org/10.1104/pp.64.1.88.

43- Zhang, L., Zhang, Z., & Gao, H. (2011). Mitochondrial alternative oxidase pathway protects plants against photoinhibition by alleviating inhibition of the repair of photodamaged PSII through preventing formation of reactive oxygen species in Rumex K-1 leaves. *Physiologiae Plantarum Journal* 143: 396-407. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2011.01514.x.